

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 79 07382**

(54)

Moteur électrique sphérique.

(51)

Classification internationale (Int. CL.<sup>3</sup>). H 02 K 1/06; 17/02.

(22)

Date de dépôt..... 23 mars 1979, à 14 h 39 mn.

(33)

(32)

(31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 42 du 17-10-1980.

(71)

Déposant : Association dite : GRADIENT, résidant en France.

(72)

Invention de : Michel Kant, Alain Virolleau et George Kaminski.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Cabinet Boettcher,  
23, rue La Boétie, 75008 Paris.

L'invention concerne un moteur sphérique pour commande directe d'une articulation à rotule autour d'un centre de rotation.

5 Dans les commandes de servo-mécanismes il est parfois nécessaire de commander un organe selon deux degrés de liberté angulaires autour d'une rotule ou joint sphérique avec en outre, éventuellement, une commande en rotation.

10 Le but de l'invention est de proposer un moteur sphérique à deux degrés de liberté par rapport à un axe de référence, c'est-à-dire un moteur pour la commande d'une pièce qu'on appellera conventionnellement rotor, à orienter dans l'espace, par rapport à un axe, autour d'un centre de rotation situé sur cet axe. Un autre but de l'invention est de proposer un tel moteur capable, en outre, de faire tourner le  
15 rotor autour de l'axe de référence.

Le premier but de l'invention est obtenu par le fait que le moteur comporte une pièce sphérique à axe polaire entourée d'une pièce enveloppante à surface intérieure  
20 sphérique laissant libres deux espaces en forme de calottes annulaires diamétralement opposées selon un axe, dit axe polaire, passant par le centre de rotation, la pièce sphérique et la pièce enveloppante constituent, l'une, au moins un inducteur créant un champ magnétique à composantes distribuées sensiblement dans des plans radiaux par rapport à  
25 son axe polaire, l'autre, un induit d'un moteur pivotant autour d'au moins un axe perpendiculaire à l'axe polaire, l'une et l'autre de la pièce sphérique et de la pièce enveloppante constituant ainsi l'une le stator, l'autre le rotor du moteur. Dans la pratique le stator sera l'inducteur et le rotor l'in-  
30 duit. Les deux formes sphériques étant concentrique, l'intervalle les séparant, mesuré dans le sens radial constitue l'entrefer.

Selon l'invention, pour faire pivoter l'axe polaire du rotor autour d'un premier axe perpendiculaire  
35 à l'axe polaire du stator, la pièce constituant inducteur(s) comprend un inducteur à deux armatures symétriques par rapport audit premier axe et s'étendant chacun sur un secteur sphérique, et, pour faire pivoter l'axe polaire du rotor selon un angle

stérique, la pièce constituant inducteur(s) comprend deux inducteurs ayant chacun deux armatures sectorielles symétriques, respectivement, autour de deux axes en quadrature dans un plan de symétrie perpendiculaire à l'axe polaire du stator.

5 Lorsque, selon le cas général, le rotor ou induit sera la pièce sphérique et le stator ou inducteur l'unité enveloppante, chaque armature sera d'une pièce unique ou assemblée constituant noyaux magnétiques et culasse d'un  
10 demi-inducteur ou stator. Il sera alors conforme à l'invention que les noyaux magnétiques s'étendent chacun en arc centré sur le centre de rotation et perpendiculaire au méridien médian de chaque armature.

Selon un mode de réalisation préféré, les noyaux magnétiques et les bobines du bobinage, disposées entou-  
15 rant les noyaux magnétiques, sont constitués respectivement, deux à deux, en paires distribuées sur les deux armatures d'un même inducteur symétriquement par rapport au centre de rotation et par rapport à un axe de symétrie dudit inducteur, et deux armatures non appariées sont séparées par un intervalle dans  
20 lequel sont logées les têtes des bobines du bobinage ondulé sans recouvrement mutuel.

Il est avantageux que chaque armature soit feuilletée en tôles disposées selon des méridiens.

Le moteur de l'invention pourra, ———  
25 selon tout mode connu d'alimentation commutable ou non, fonctionner en moteur asynchrone ou un moteur à reluctance variable ou encore selon les deux modes réunis.

Il est avantageux que l'induit soit en fer doux massif, par exemple recouvert de cuivre pour un fonction-  
30 nement asynchrone, et comportant des encoches circulaires selon des plans perpendiculaires à son axe polaire pour un fonctionnement à reluctance variable.

Selon une variante convenant au fonction-  
nement à reluctance variable, l'induit comporte, sur chaque  
35 secteur vis-à-vis de chaque armature du ou des inducteurs, des encoches distribuées selon des plans diamétraux perpendiculaires au méridien médian du secteur considéré. Il est alors conforme à l'invention, que les encoches contiennent un conducteur

en cuivre.

Le second but selon l'invention est atteint par le fait que, pour faire tourner en outre le rotor autour de son axe polaire, la pièce constituant inducteur(s) comprend un inducteur supplémentaire disposé concentriquement et créant un champ tournant autour de l'axe polaire de la pièce constituant inducteur. A cet effet, il est conforme à l'invention que les armatures comportent, chacune, deux séries d'encoches et deux séries de bobinages croisés dont une série d'encoches et une série de bobinages disposés selon des méridiens.

On pourra également réaliser un ensemble à trois et même quatre degrés de liberté en combinant le moteur de l'invention avec un moteur linéaire et/ou rotatif logé dans le rotor et dont la direction de translation et/ou l'axe de rotation sont dirigés au repos selon l'axe polaire du moteur de l'invention.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description, qui sera donnée ci-après uniquement à titre d'exemple, de modes de réalisation. On se reportera à cet effet aux figures annexées dans lesquelles :

- La figure 1 est une vue perspective schématique d'un mode de réalisation d'un moteur selon l'invention et montrant notamment la structure du stator ;
- la figure 2 est une vue en coupe équatoriale à plus petite échelle du moteur de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue externe avec coupe partielle d'un rotor selon l'invention ;
- la figure 4 est une variante du rotor de la figure 3 ;
- la figure 5 est une vue extérieure d'un autre rotor selon l'invention représenté en regard d'une fraction de la partie encochée du stator.
- la figure 6 est une vue en transparence d'une pièce statorique pour un moteur selon l'invention à trois degrés de liberté.

La description faite en regard de la figure 1 sera faite par référence à un centre O et trois axes orthogonaux passant par ce centre, respectivement  $x'ox$ ,  $y'oy$ ,  $z'oz$ , l'axe  $z'oz$  étant orthogonal en O au plan  $xOy$ .

Le moteur comprend un induit ou rotor 1 de forme sphérique dont un axe sera privilégié comme axe polaire, portant par exemple un organe actif pour une transmission d'effort par déplacement angulaire par rapport à au moins l'un des deux plans  $xOz$  et  $yOz$ .

Le stator, désigné dans son ensemble par 2, comprend deux inducteurs 3 et 4, chacun en deux pièces séparées 5, identiques à surfaces intérieures sphériques concentriques à la surface extérieure du rotor 1. Les quatre pièces 5 sont rigidement liées les unes aux autres, l'intervalle entre leurs surfaces intérieures et la surface extérieure du rotor constituant l'entrefer du moteur. Les quatre pièces 5 sont distribuées, non jointives, de façon sectorielle sur un méridien d'une sphère de référence d'axe  $z'Oz$ , centrées deux à deux symétriquement respectivement sur  $x'Ox$  et  $y'Oy$ . Elles sont tronquées à leurs extrémités les plus voisines des pôles de la sphère sur laquelle elles sont distribuées, de façon à y laisser deux espaces libres 6 en forme de calottes sphériques polaires d'angle au sommet égal à  $2\alpha$ .

La face interne du stator tient lieu de portée sphérique pour le stator qu'il guide sans jeu. Mais on pourra réaliser tout autre mode de palier connu, tel que palier fluide constitué entre stator et rotor ou paliers annulaires à billes.

Les pièces 5 constituent, chacune, une armature constituant à la fois noyaux magnétiques 10 et culasse 11 du demi-inducteur 3 ou 4 auquel elle appartient. A cet effet elles sont en matériau magnétique usiné en forme de tétragones à surface sphérique délimités par deux parallèles et deux méridiens de la sphère de référence. Leurs surfaces intérieures comportent des alternances de noyaux 10 et d'encoches 7 parallèles dirigés les uns et les autres selon des parallèles de la sphère de référence et dont, pour la clarté de la figure 1, une seule encoche 7 a été représentée complètement. Il faut comprendre que les pièces 5 d'un même inducteur, 3 ou 4, sont identiques et symétriques de façon à constituer à elles deux un stator, dont les bobinages convenablement alimentés provoquent une rotation du stator autour de l'axe  $y'Oy$  ou

x'ox perpendiculaire à celui, x'ox ou y'oy sur lequel elles sont alignées chacune centrée sur le point d'intersection de ce dernier axe avec le méridien de la sphère de référence.

5 Un intervalle méridien 9 entre deux pièces 5 non appariées est prévu pour le logement des têtes de bobines 8 d'un bobinage ondulé. Pour la clarté de la figure deux têtes de bobines 8 seulement ont été représentées.

10 Si, comme cela est préférable pour la simplification de la construction, les quatre pièces 5 sont identiques, chacune d'elle s'étend donc sur moins de 90° du méridien de la sphère de référence.

15 On voit que, par les moyens qui ont été décrits jusqu'ici, l'axe polaire du rotor peut être commandé en toute position angulaire dans l'espace par rapport à l'axe z'oz de la sphère de référence, c'est-à-dire du stator. Si cet axe polaire porte un organe de transmission de force, par exemple une tige de commande, la possibilité de basculement angulaire en toutes directions sera limitée à la zone angulaire limitée par les espaces libres 6, c'est-à-dire à un angle conique  $\alpha$  autour de z'oz. Si la zone axiale du rotor est évidée selon un cylindre 24 comme aux figures 3 et 4, elle peut recevoir le stator d'un moteur linéaire et/ou rotatif à stator extérieurement cylindrique et dont la direction de translation et/ou de rotation permettra d'obtenir au total trois ou quatre degrés de liberté pour son rotor.

25 En ce qui concerne le mode de bobinage, les commentaires suivants seront donnés. Sur les quatre pièces 5, sont répartis deux bobinages indépendants. Mais deux noyaux diamétralement opposés, bien qu'ayant des bobines séparées 30 toujours alimentées simultanément, constituent un bobinage. Le nombre, ainsi que l'espacement, des encoches 7 est choisi en fonction du nombre de pôles désirés et de la vitesse de pivotement du champ magnétique désiré.

35 Dans les encoches sont disposées les bobines, dont la répartition sera d'un type connu, afin que leur alimentation triphasée de fréquence  $f$  engendre sur les noyaux statoriques  $p$  paires de pôles et que la distribution du champ

se déplace à la vitesse angulaire  $\omega = \theta.f$ ,  $\theta$  étant l'angle séparant deux pôles successifs de même nom. Les bobines de deux noyaux diamétralement opposés devront être reliées de telle manière que la rotation du champ s'effectue dans le même sens que les deux noyaux de fer.

Dans la version à reluctance variable, les bobines seront alimentées en courant continu et c'est la succession des séquences d'alimentation qui générera le mouvement. Dans la version mariant les deux systèmes, l'alimentation des bobines sera une fonction périodique du temps possédant une composante continue plus le fondamental de fréquence  $f$ . Les composantes continues se chargeront de créer une distribution de champ fixe dans l'espace et pouvant se déplacer pas à pas suivant les séquences d'alimentation pour le système à reluctance et les fondamentaux à la fréquence  $f$  généreront une distribution de champ se déplaçant à la vitesse angulaire  $\omega = \theta - f$  qui sera à l'origine du système asynchrone en générant des courants induits dans le rotor.

Chacune des quatre pièces 5 peut être feuilletée ou non. Il y aura avantage à la feuilletter lorsqu'elle sera utilisée en système asynchrone pour ne pas générer de courants de Foucault parasites au stator. Il n'y en aura pas quand elle sera utilisée en moteur à reluctance variable. Dans le cas où elle est feuilletée, la direction de feuilletage sera perpendiculaire aux encoches laissant place aux bobines.

Dans l'un ou l'autre des systèmes (asynchrone ou à reluctance ou les deux ensemble) l'alimentation des bobines des deux pièces 5 symétriques par rapport à O de l'inducteur 4 générera des couples tendant à faire pivoter le rotor autour de l'axe  $x'Ox$  et l'alimentation des pièces 5 de l'inducteur 3 à faire pivoter le rotor autour de l'axe  $y'Oy$ . Dans le système asynchrone les deux mouvements pourront se faire simultanément et selon des déplacements angulaires quelconques. Dans le système à reluctance, un mouvement de pivotement autour d'un axe ne se fera qu'après que le rotor soit revenu à une position pour laquelle stator et rotor sont axés dans le mouvement autour de l'autre axe.

La forme extérieure du rotor 1 est celle

d'une sphère, qui peut être tronquée dans les parties non fonctionnelles.

Suivant le système de fonctionnement retenu différentes sortes de rotor sont conformes à l'invention.

5 Pour le système asynchrone trois types de rotor peuvent convenir, le dernier type étant le plus performant :

- en fer doux massif évidé à l'intérieur et d'épaisseur requise pour le passage du flux sans atteindre la saturation.
- 10 - en fer doux massif recouvert d'une couche d'épaisseur constante de cuivre (le cuivre transportant les courants induits)
- en fer doux massif pourvu d'encoches rotoriques, dont les creux sont éventuellement occupés partiellement par du cuivre. Dans un système asynchrone la forme des encoches importe
- 15 te relativement peu.

Dans un mode de réalisation représenté à la figure 3, le rotor 1 est muni d'encoches circulaires 21. Selon une variante du précédent, représentée à la figure 4, les encoches circulaires 21 du même rotor 1 sont remplies de

20 cuivre 22. Dans ce cas, quatre encoches méridiennes 23 sont utiles pour la fermeture des courants induits prenant naissance dans le cuivre lorsque toutes les encoches 21 sont remplies de cuivre 22. Les quatre encoches méridiennes 23 peuvent être elles-mêmes remplies de cuivre. Elles se situent, par rapport

25 au stator, vis-à-vis des intervalles méridiens 9 recevant les têtes de bobines 8.

Dans une version à reluctance variable représentée à la figure 5 le rotor, en fer doux présente des encoches 14 dont la forme et l'orientation ne peuvent plus

30 être quelconques. Si on divise le rotor 1 selon quatre méridiens 12 en quadrature selon l'axe de manière à obtenir quatre quarts 13 en regard des parties statoriques, on voit à la figure 5 que sur chacun des quarts 13 les encoches 14 sont axées sur des plans passant par le centre O, équidistants, et

35 perpendiculaires au méridien  $m_1$  formant axe de symétrie de la pièce statorique n°i. La périodicité de ces encoches rotoriques 14 est un nombre premier par rapport à la périodicité des encoches statoriques 7 en regard avec elles. La forme de ces



encoches ainsi que le nombre sera fonction du nombre de pôles au stator et déterminé afin d'obtenir la plus grande variation possible de la reluctance (pour une distribution de champ donnée) lors d'un déplacement élémentaire  $d\theta$ .

5

Dans la version combinant les deux systèmes asynchrone et à reluctance le rotor sera tel que celui à reluctance avec du cuivre disposé à l'intérieur des encoches avec barres de fermeture aux extrémités pour réunir toutes les barres de cuivre entre elles afin que les courants induits puissent circuler.

10

En ce qui concerne le troisième degré de liberté de pivotement autour de l'axe  $z'Oz$ , pour l'obtenir, l'invention a prévu de disposer d'un 3<sup>e</sup> bobinage 15 en quadrature spatiale avec les deux autres, donc disposé dans des encoches 16 méridiennes perpendiculaires aux autres pour chacune des quatre pièces statoriques 5 et de coupler toutes ces bobines supplémentaires 16 afin que les distributions de champ qu'elles induisent tournent toutes dans le même sens autour de l'axe  $z'Oz$ .

15

20

Dans ce cas les encoches des pièces statoriques 5 seront un damier dont les creux seront occupés par les bobines qui devront ainsi se croiser.

25

Dans ce cas, bien sûr, les pièces statoriques ne devront pas être feuilletées afin que le flux puisse circuler dans deux directions perpendiculaires.

REVENDICATIONS

1. Moteur sphérique pour commande directe d'une articulation à rotule autour d'un centre de rotation, caractérisé en ce qu'il comporte une pièce sphérique à axe polaire entourée  
5 concentriquement d'une pièce enveloppante à surface intérieure sphérique laissant libres deux espaces en forme de calottes sphériques diamétralement opposées selon un axe, dit axe polaire, passant par le centre de rotation, la pièce sphérique et la pièce enveloppante constituent, l'une, au moins un inducteur créant un  
10 champ magnétique à composantes distribuées sensiblement dans des plans radiaux par rapport à son axe polaire, l'autre, un induit d'un moteur pivotant autour d'au moins un axe perpendiculaire à l'axe polaire, l'une et l'autre de la pièce sphérique et de la pièce enveloppante constituant ainsi l'une le stator, l'autre le  
15 rotor du moteur.

2. Moteur sphérique selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour faire pivoter l'axe polaire du rotor autour d'un premier axe perpendiculaire à l'axe polaire du stator, la pièce constituant inducteur(s) comprend un inducteur à deux  
20 armatures symétriques par rapport audit premier axe et s'étendant chacun sur un secteur sphérique.

3. Moteur sphérique selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour faire pivoter l'axe polaire du rotor selon un angle stérique, la pièce constituant inducteur(s) comprend deux  
25 inducteurs ayant chacun deux armatures sectorielles symétriques, respectivement, autour de deux axes en quadrature dans un plan de symétrie perpendiculaire à l'axe polaire du stator.

4. Moteur sphérique selon l'une quelconque des revendications 2 et 3, dans lequel l'induit est la pièce sphérique  
30 et l'inducteur l'unité enveloppante, caractérisé en ce que chaque armature est d'une pièce unique ou assemblée constituant noyaux magnétiques et culasse d'un demi-inducteur.

5. Moteur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les noyaux magnétiques s'étendent chacun en arc centré sur le  
35 centre de rotation et perpendiculaire au méridien médian de chaque armature.

6. Moteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que les noyaux magnétiques et les bobines du bobinage, disposées entourant les noyaux magnétiques, sont constitués respectivement,

deux à deux, en paires distribuées sur les deux armatures d'un même inducteur symétriquement par rapport au centre de rotation et par rapport à un axe de symétrie dudit inducteur.

5 3 à 6, caractérisé en ce que deux armatures non appariées sont séparées par un intervalle dans lequel sont logées les têtes des bobines du bobinage ondulé sans recouvrement mutuel.

8. Moteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que chaque armature est feuilletée en 10 tôles disposées selon des méridiens.

9. Moteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'induit est en fer doux massif.

10. Moteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'induit est en fer doux massif recouvert de cuivre.

15 11. Moteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'induit comporte des encoches circulaires selon des plans perpendiculaires à son axe polaire.

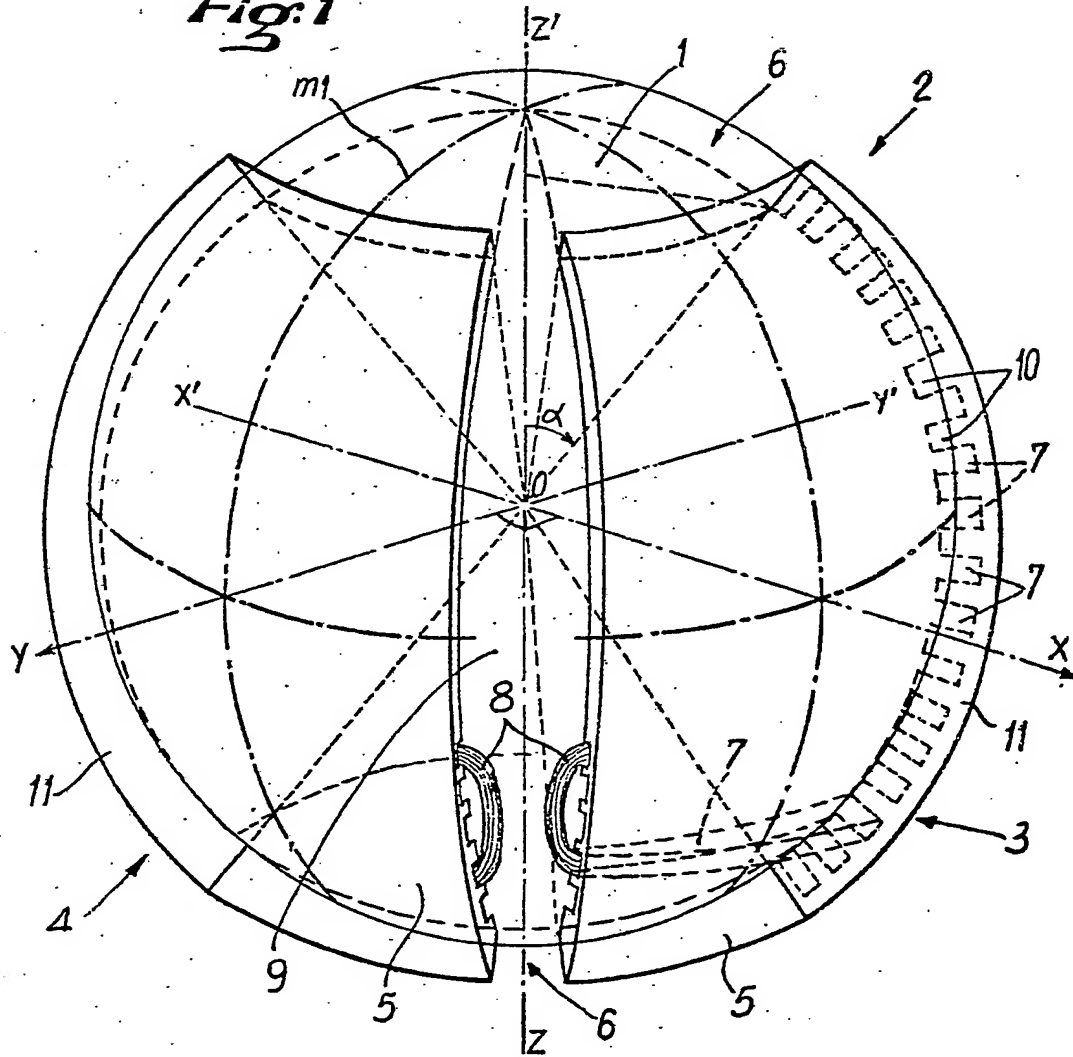
20 12. Moteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'induit comporte, sur chaque secteur vis-à-vis de chaque armature du ou des inducteurs, des encoches distribuées selon des plans diamétraux perpendiculaires au méridien médian du secteur considéré.

25 13. Moteur selon l'une quelconque des revendications 11 et 12, caractérisé en ce que les encoches contiennent un conducteur en cuivre.

30 14. Moteur selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, 9 à 11 et 13, caractérisé en ce que, pour faire tourner en outre le rotor autour de son axe polaire, la pièce constituant inducteur(s) comprend un inducteur supplémentaire disposé concentriquement et créant un champ tournant autour de l'axe polaire de la pièce constituant inducteur.

35 15. Moteur selon la revendication 14, caractérisé en ce que les armatures comportent, chacune, deux séries d'encoches et deux séries de bobinages croisés dont une série d'encoches et une série de bobinages disposés selon des méridiens.

**Fig: 1**



*Fig. 2*

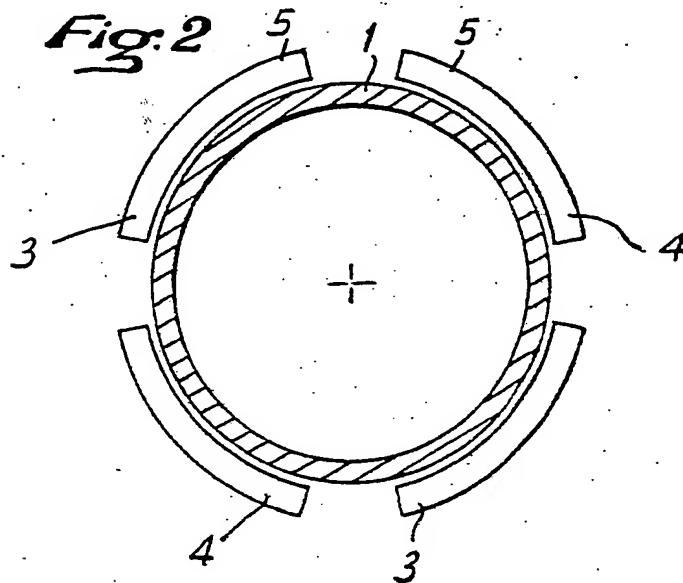


Fig.3

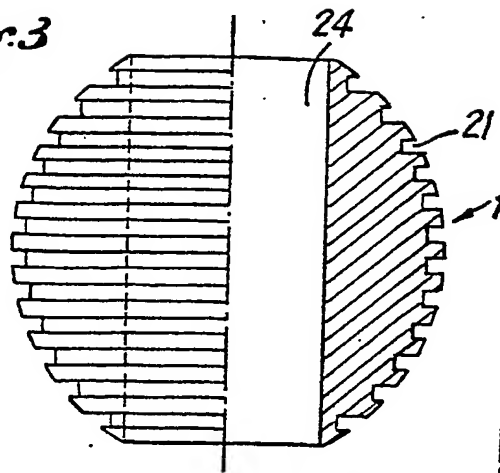


Fig.4

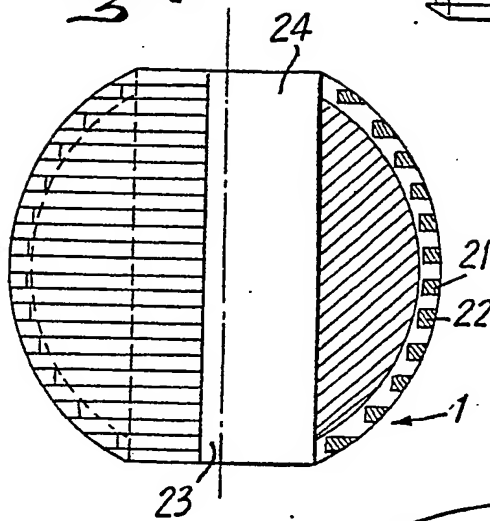


Fig.5

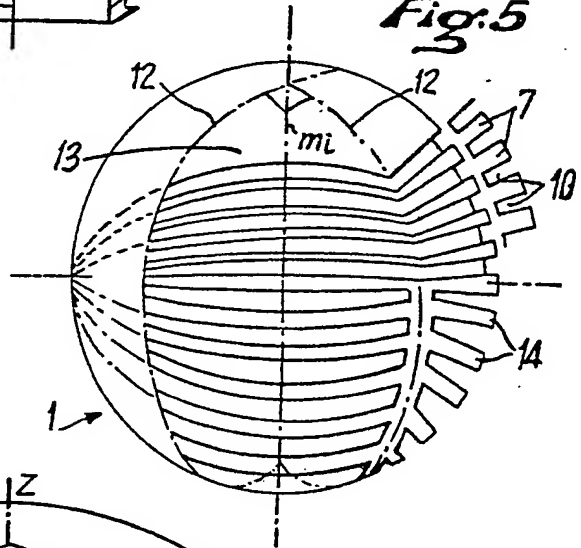
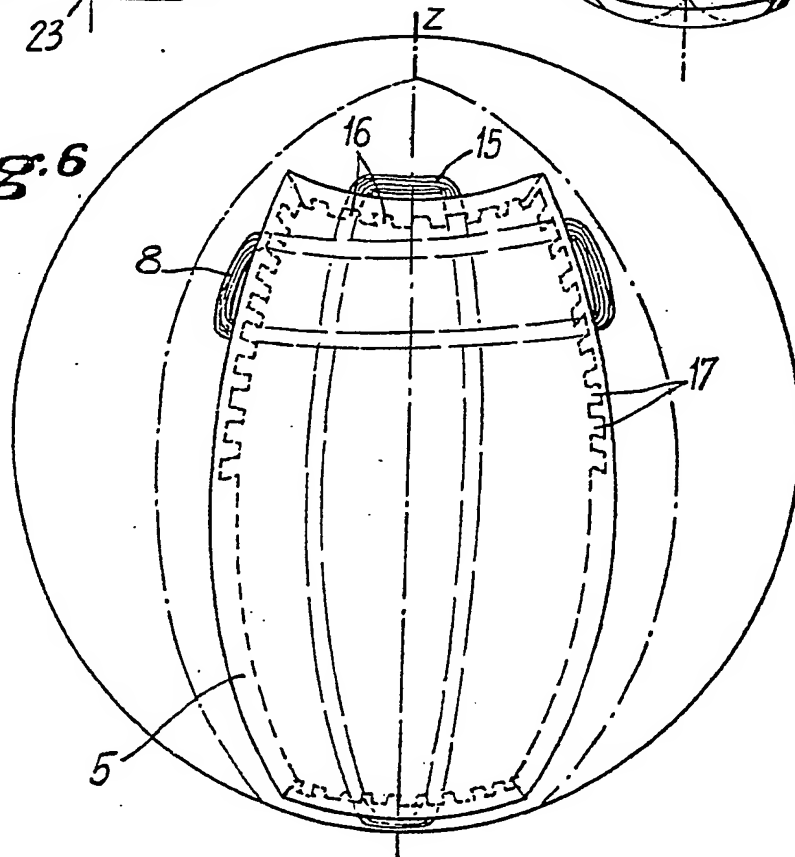


Fig.6



PTO 04-2579

CY=FR DATE=19801017 KIND=A1  
PN=2 452 193

SPHERICAL ELECTRIC MOTOR  
[MOTEUR ELECTRIQUE SPHERIQUE]

MICHEL KAND, et al.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE  
Washington, D.C. April 2004

Translated by: FLS, Inc.

|                              |                                    |
|------------------------------|------------------------------------|
| PUBLICATION COUNTRY          | (10): FR                           |
| DOCUMENT NUMBER              | (11): 2 452 193                    |
| DOCUMENT KIND                | (12): A1                           |
| PUBLICATION DATE             | (41): GRADIENT                     |
| APPLICATION NUMBER           | (21): 79 07382                     |
| APPLICATION DATE             | (22): 19790323                     |
| INTERNATIONAL CLASSIFICATION | (51): H 02 K 1/06; 17/02           |
| PRIORITY COUNTRY             | (33): NA                           |
| PRIORITY NUMBER              | (31): NA                           |
| PRIORITY DATE                | (32): NA                           |
| INVENTOR                     | (72): Michel Kant, et al.          |
| APPLICANT                    | (71): GRADIENT                     |
| TITLE                        | (54): SPHERICAL ELECTRIC MOTOR     |
| FOREIGN TITLE                | [54A]: Moteur electrique spherique |

The invention concerns a spherical electric motor for direct control of a ball joint around a center of rotation.

/1\*

In servo-mechanism controls at times it is necessary to control an element according to two degrees of angular freedom around a spherical ball or joint with, in addition, possibly, rotation control.

The object of the invention is to propose a spherical motor with two degrees of freedom with respect to a reference axis, that is, a motor for controlling a piece that is conventionally called a rotor, to be oriented in space, with respect to an axis, around a center of rotation located on this axis. Another object of the invention is to propose such a motor, also capable of making the rotor turn around the reference axis.

The first object of the invention is achieved by the fact that the motor includes a spherical piece having a polar axis, surrounded by an enveloping piece having a spherical interior surface, leaving free two spaces in the form of annular caps diametrically opposite along an axis, called a polar axis, passing by the center of rotation, the spherical piece and the enveloping piece, the former constituting at least one inductor creating a magnetic field having components distributed approximately in the radial planes with respect to its polar axis, and the latter constituting an armature of a motor pivoting around at least one axis perpendicular to the polar axis, the former, spherical, piece thus constituting the stator and the latter,

---

\*Numbers in the margin indicate pagination in the foreign text.



enveloping, piece thus the rotor of the motor.

In practice, the stator will be the inductor, and the rotor the armature. The two spherical forms being concentric, the interval separating them measured in the radial direction constitutes the air-gap.

In accordance with the invention, in order to make the polar axis of the rotor pivot around a first axis perpendicular to the polar axis of the stator, the piece constituting inductor(s) includes an inductor having two armatures symmetrical with respect to said first axis and each extending on a spherical axis, and, in order to make the polar axis of the rotor pivot in accordance with a steric angle, the piece constituting inductor(s) includes two inductors, each having two /2 armatures, symmetrical, respectively, around two square axes in a plane of symmetry perpendicular to the polar axis of the stator.

When, in accordance with the general case, the rotor or armature will be the spherical piece and the stator or inductor will be the surrounding unit, each armature will be of a single or assembled piece constituting magnetic cores and cylinder head of a demi-inductor or stator. Then, in accordance with the invention, each of the magnetic cores will extend in an arc centered on the center of rotation and perpendicular to the median meridian of each armature.

In accordance with a preferred embodiment, the magnetic cores and the coils of the winding, placed around the magnetic cores, are constituted, respectively, two by two, in pairs distributed on the two armatures of the same inductor symmetrically with respect to the

center of rotation and with respect to an axis of symmetry of said inductor, and two non-paired armatures are separated by an interval in which the heads of the coils of the corrugated winding are located undulating without mutual overlapping.

It is advantageous that each armature be laminated metal sheets located along the meridians.

The motor in accordance with the invention will be able, \_\_\_\_\_ in accordance with any known mode of power supply, commutable or not, to function as an asynchronous motor or a variable reluctance motor, or again in accordance with the two modes combined.

It is advantageous that the armature be made of soft solid iron, for example covered with copper in order to operate asynchronously, and including circular slots along planes perpendicular to its polar axis for a variable reluctance operation.

In accordance with an appropriate variable reluctance version, the armature includes, on each sector vis-a-vis each armature or the inductor or inductors, slots distributed along diametric planes perpendicular to the median meridian of the sector considered. It is then in accordance with the invention that the slots contain a copper conductor.

/3

The second object in accordance with the invention is achieved by the fact that, in order to make the rotor also turn around its polar axis, the piece constituting inductor(s) includes a supplementary inductor placed concentrically and creating a field turning around the polar axis of the piece constituting the inductor. For this purpose,

in accordance with the invention, each of the armatures has two series of slots and two series of crossed windings, one series of slots and one series of windings arranged along the meridians.

It is also possible to realize a set of three, and even four degrees of freedom by combining the motor in accordance with the invention, with a linear and/or rotary motor located in the rotor, and the direction of translation of which and/or the axis of rotation of which are oriented at rest along the polar axis of the motor in accordance with the invention.

Other characteristics and advantages of the invention follow from the description of the invention, which will be given below only as an example. For this reason reference will be made to the annexed figures in which:

- Fig. 1 is a schematic perspective view of an embodiment of a motor in accordance with the invention, and showing, in particular, the structure of the stator;

- Fig. 2 is a view of an equatorial cross-section of the motor shown in Fig. 1, in a smaller scale;

- Fig. 3 is an external view with a partial cross-section of a rotor in accordance with the invention;

- Fig. 4 is a version of the rotor shown in Fig. 3;

- Fig. 5 is an exterior view of another rotor in accordance with the invention represented with regard to a fraction of the notched part of the stator;

Fig. 6 is a transparent view of a stator piece for a motor in accordance with the invention having three degrees of freedom.

The description made with regard to Fig. 1 will be made with reference to a center  $O$  and three orthogonal axes passing through this center, respectively  $x'ox$ ,  $y'oy$ ,  $z'oz$ , the axis  $z'oz$  being orthogonal at  $O$  to the plane  $xoy$ .

The motor includes an armature or rotor 1 of spherical shape, /4 axis of which will be privileged as a polar axis, for example bearing an active element for a transmission of force by angular displacement with respect to at least one of the two planes  $xOz$  and  $yOz$ .

The stator, designated as a whole as 2, includes two inductors 3 and 4, each of two separate pieces 5, identical to spherical internal surfaces, concentric to the exterior surface of the rotor 1. The four pieces 5 are rigidly connected to one another, the interval between their internal surfaces constituting the air gap of the motor. The four pieces 5 are distributed, not joined, in sectorial fashion on a meridian of a sphere of reference having the axis  $z'oz$ , centered two by two symmetrically respectively to  $x'ox$  and  $y'oy$ . They are truncated at their ends closest to the poles of the sphere on which they are distributed, so as to leave two free spaces 6 in the form of spherical polar cups having an angle at their summit equal to  $2\alpha$ .

The internal face of the stator acts as a spherical bearing for the rotor which it guides without play. However, it will be possible to realize any other mode of bearing known, such as a fluid bearing made between stator and rotor or annular ball races.

Each of the pieces 5 constitutes an armature constituting, at the same time, magnetic cores 10 and yoke 11 of the demi-inductor 3 or 4 to which it belongs. For this purpose they are made of a magnetic material machined in the form of tetragons having a spherical surface delimited by two parallels and two meridians of the sphere of reference. Their interior surfaces comprise alternations of cores 10 and parallel slots 7 oriented to one another along parallels of the sphere of reference and, a single slot 7 of which has been completely represented in Fig. 1 for the sake of clarity. It is necessary to understand that the pieces 5 of the same inductor, 3 or 4, are identical and symmetrical so that the two of them constitute a stator, the windings of which appropriately supplied with current cause a rotation of the stator around the axis  $y'$  or or  $x'ox$  perpendicular to /5 that,  $x'ox$  or  $y'oy$  on which they each are aligned centered on the point of intersection of this latter axis with the meridian of the sphere of reference.

A meridian interval 9 between two unpaired pieces 5 is provided for the location of the heads of coils 8 of an undulating winding. For the sake of clarity of the figure, only two heads of coils 8 have been represented.

If, as is preferable for the simplification of the construction, the four pieces 5 are identical, therefore each of them extends on at least  $90^\circ$  of the meridian of the sphere of reference.

It is seen that, by the means that have been described up to now, the polar axis of the rotor may be controlled in any angular position

in space with respect to the axis  $z'oz$  of the reference sphere, that is, of the stator. If this polar axis bears a force transmission element, for example a control rod, the possibility of angular fluctuation in all directions will be limited to the angular zone limited by the free spaces 6, that is to a conical angle  $\alpha$  around  $z'oz$ . If the axial zone of the rotor is hollowed out as a cylinder 24 as in Figs. 3 and 4, it can receive the stator of a linear and/or rotary motor having a externally cylindrical stator and the direction of translation and/or rotation of which will make it possible to obtain a total of three or four degrees of freedom for its rotor.

The following comments will be made with respect to the mode of winding. Two independent windings are distributed on the four pieces 5. However, two diametrically opposed pieces, although having separate coils, always are supplied with power simultaneously, constitute one winding. The number, just as the spacing, of the slots 7 is chosen as a function of the desired number of poles and speed of pivoting of the desired magnetic field.

The coils, the distribution of which will be of a known type, are located in the slots, in order that their three-phase power supply of frequency  $f$  creates pairs of poles on the stator coils  $p$  and that the distribution of the field moves at the angular velocity  $\omega = \theta - f$  /6 that will be at the origin of the asynchronous system by generating currents induced in the rotor.

Each of the four pieces 5 may be laminated or not. There will be an advantage to laminate it when it will be used in an asynchronous

system in order not to generate parasite Foucault currents to the stator. There will not be one when it will be used in a variable reluctance motor. In the case where it is laminated, the direction of lamination will be perpendicular to the slots leaving room to the coils.

In one of the other of the systems (asynchronous or reluctance or the two together), the power supply of the coils of the two pieces 5, symmetrical with respect to O, of the inductor 4 will generate couples tending to make the rotor pivot around the axis  $x'ox$  and the power supply of the pieces 5 of the inductor 3 to make the rotor pivot around the axis  $y'oy$ . In the asynchronous system the two motions may be made simultaneously and along any angular displacements. In the reluctance system, a movement of pivoting around an axis will be made only after the rotor is returned to a position for which stator and rotor are axes in the motion around the other axis.

The external form of the rotor 1 is that of a sphere, that may /7 truncated in the non-functional parts.

Depending on the operating system used, different sorts of rotor are suitable for the invention.

For the asynchronous system three types of rotor can be suitable, the last type having the best performance:

- solid soft iron having a hollow interior and the requisite thickness for the passage of flux without reaching saturation.
- solid soft iron covered by a layer having a uniform thickness of iron (the copper conducting the induced currents)
- solid soft iron provided with rotor slots, the cavities of

which are possibly partially occupied by copper. In an asynchronous system the form of the layers is of relatively little importance.

In an embodiment shown in Fig. 3, the rotor 1 is provided with circular slots 21. According to one version of the above, shown in Fig. 4, the circular slots 21 of the same rotor 1 are filled with copper 22. In this case, four meridian slots 23 are useful for closing the induced currents arising in the copper when all the layers 21 are filled with copper 22. The four meridian slots 23 may themselves be filled with copper. They are situated, with respect to the stator, vis-a-vis meridian intervals 9 receiving the heads of coils 8.

In one version having variable reluctance, shown in Fig. 5, the rotor, made of soft iron, has slots 14, the shape and orientation of which cannot be arbitrary. If the rotor 1 is divided along four meridians 12 in four parts along the axis so as to obtain four quarters 13 with respect to the stator parts, it is seen in Fig. 5 that on each of the quarters 13 the slots 14 are axes on planes passing through the center O, equidistant and perpendicular to the meridian  $m_i$  forming an axis of symmetry of the stator piece  $n^{\circ}i$ . The periodicity of these rotor slots 14 is a first number with respect to the periodicity of the stator slots 7 with respect to them. The shape of these slots, as well as the number will be a function of /8  
the number of poles at the stator and determined in order to obtain the greatest variation possible of the reluctance (for a given field distribution) at the time of an elementary displacement  $d\theta$ .

In the version combining the two systems, asynchronous and



reluctance, the rotor will be such that the reluctance system having copper located in the interior of the slots with closure bars at the ends in order to connect all of the copper bars together so that the induced currents can circulate.

With respect to obtaining the third degree of freedom of pivoting around the axis  $z'oz$ , the invention has provided to locate a third winding 15 in spatial quadrature with the two others, therefore located in the meridian slots 16 perpendicular to the others for each of the four stator pieces 5 and to couple all these supplementary coils 16 so that the field distributions that they induce all turn in the same direction around the axis  $z'oz$ .

In this case, the slots of the stator pieces 5 will be a checkerboard, the vacant spaces of which will be occupied by the coils that thus should cross.

In this case, of course, the stator pieces should not be laminated so that the flux can circulate in two perpendicular directions.

#### CLAIMS

/9

1. A spherical motor for direct control of a ball joint around a center of rotation, wherein it has a spherical piece having a polar axis, surrounded concentrically by an enveloping piece having a spherical interior surface, leaving free two diametrically opposite spaces in the form of spherical caps diametrically opposed along an axis, called a polar axis, passing through the center of rotation, the spherical piece and the enveloping piece, the former constituting at

least one inductor creating a magnetic field having components distributed approximately in the radial planes with respect to its polar axis, and the latter constituting an armature of a motor pivoting around at least one axis perpendicular to the polar axis, the former, spherical, piece thus constituting the stator and the latter, enveloping, piece thus the rotor of the motor.

2. The spherical motor in accordance with Claim 1, wherein, in order to make the polar axis of the rotor pivot around a first axis perpendicular to the polar axis of the stator, the piece constituting the inductor(s) includes an inductor having two armatures symmetric with respect to said first axis and each extending on a spherical sector.

3. The spherical motor in accordance with Claim 1, wherein, in order to make the polar axis of the rotor pivot along a steric angle, the piece constituting the inductor(s) includes two inductors, each having two sectorial armatures symmetric, respectively, around two axes in quadrature in a plane of symmetry perpendicular to the polar axis of the stator.

4. The spherical motor in accordance with any one of the Claims 2 and 3, in which the armature is the spherical piece and the inductor the enveloping unit, wherein each armature is a unique piece or assembly constituting magnetic cores and yoke of a demi-inductor.

5. The motor in accordance with Claim 4, wherein each of the magnetic cores extends in an arc centered on the center of rotation and perpendicular to the median meridian of each armature.

6. The motor in accordance with Claim 5, wherein the magnetic cores and the coils of the winding, located surrounding the magnetic cores, are constituted, respectively two by two, in pairs distributed /10 the two armatures of the same inductor symmetrically with respect to the center of rotation and with respect to an axis of symmetry of said inductor.

7. The motor in accordance with any one of Claims 3 to 6, wherein two unpaired armatures are separated by an interval in which the heads of the coils of the corrugated winding are located without mutual covering.

8. The motor in accordance with any one of Claims 1 to 7, wherein each armature is laminated in metal sheets placed along meridians.

9. The motor in accordance with any one of Claims 1 to 8, wherein the armature is made of solid soft iron.

10. The motor in accordance with Claim 9, wherein the armature is made of solid soft iron covered with copper.

11. The motor in accordance with Claim 9, wherein the armature includes circular slots along planes perpendicular to its polar axis.

12. The motor in accordance with Claim 9, wherein the armature includes, on each sector vis-a-vis each armature or inductors, slots distributed along planes diametrically perpendicular to the median meridian of the sector considered.

13. The motor in accordance with any one of Claims 11 and 12, wherein the slots contain a copper conductor.

14. The motor in accordance with any one of Claims 2 to 7, 9 to 11

and 13, wherein, in order to make the rotor also turn around its polar axis, the piece constituting the inductor(s) includes a supplementary inductor located concentrically and creating a field turning around the polar axis of the piece constituting the inductor.

15. The motor in accordance with Claim 14, wherein each of the armatures include two series of slots and two series of crossed windings, one series of slots and one series of windings of which are located along the meridians.